

# 温度依存性を考慮したサブスレッショルド CMOS 高抵抗回路

Temperature insensitive high resistance resistor circuit consisting of subthreshold MOSFETs

浅井 慎一  
Asai Shin'ichi

上野 憲一  
Ueno Ken

浅井 哲也  
Asai Tetsuya

雨宮 好仁  
Amemiya Yoshihito

北海道大学 情報科学研究科  
Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

## 1. はじめに

サブスレッショルド領域で動作する CMOS 差動回路を利用すると、10 MΩ 以上の高抵抗を小さい面積で構成できる[1]。しかしこの抵抗の値は一定ではなく、温度によって大きく変化する。この点を解決するため、絶対温度に比例する PTAT 電流 (Proportional-To-Absolute-Temperature 電流) を差動回路のバイアス電流に使用することを検討した。この方法により温度依存性の小さい高抵抗を実現できる。以下にその動作原理とシミュレーション解析結果を示す。

## 2. 回路構成

差動回路による抵抗素子の原理を図 1 に示す。この回路の端子 1 と 2 の間に電位差  $\Delta V$  を与えると、端子 1 から電流  $\Delta I$  が流入し、端子 2 からは  $\Delta I$  が流出する。 $\Delta V$  が小さいとき  $\Delta I$  は  $\Delta V$  に比例するので、この差動回路は 2 端子の抵抗素子として動作する。回路をサブスレッショルド領域で動作させたとき、抵抗値は  $4mkT/(qI_0)$  となる ( $I_0$ : テイル電流、 $m$ : 傾き係数、 $k$ : ボルツマン定数、 $T$ : 絶対温度、 $q$ : 電荷素量)。

この抵抗の値は、テイル電流  $I_0$  が一定であれば、温度とともに増加して一定にはならない。しかし PTAT 電流を差動回路のテイル電流として使用すれば、抵抗値の温度依存性を打ち消すことができる。

PTAT 電流源を含む抵抗回路の構成を図 2 に示す。PTAT 電流源の部分は  $\beta$  乗算型自己バイアス回路の抵抗素子をスイッチトキャパシタ抵抗 ( $C_s$  および  $CK$  と  $\overline{CK}$ ) に置き換えた構成である。M5 と M4 のサイズ比を 1 :  $\alpha$  に設定し、PTAT 電流源の電流  $I_{PTAT}$  の  $1/\alpha$  倍の電流を高抵抗回路のテイル電流として使用する。スイッチング周波数を  $f$  として、サブスレッショルド領域での PTAT 電流  $I_{PTAT}$  は  $mkTC_s f \ln K/q$  で与えられる ( $K$  は M1 と M2 のサイズ比)。したがって端子 1 - 2 間の抵抗値は  $4\alpha/(C_s f \ln K)$  となり、温度依存性のない高抵抗が得られる。

## 3. シミュレーション結果

図 2 の回路について 0.35  $\mu\text{m}$ -CMOS デバイスパラメータを用いてシミュレーション解析を行った。図 3(a) に PTAT 電流源の電流  $I_{PTAT}$  の温度変化を示す。出力電流は温度に対して線形変化する。図 3(b) に端子 1 - 2 間の抵抗値の温度変化を示す。抵抗値を 20 MΩ - 130 MΩ の範囲に設定したとき、温度係数は 90 - 200 ppm/°C に収まった。なお図の点線は温度補償のない回路 (テイル電流が一定) の抵抗値であり、温度による変化は 0.28 - 0.3 %/°C と非常に大きい。

この抵抗回路は、スイッチトキャパシタそのものを抵抗に使う場合 (抵抗値  $1/(C_s f)$ ) と比較して、容量  $C_s$  とスイッチング周波数  $f$  が同じでも数十倍の抵抗値が得られる。また多数の高抵抗を必要とする場合でも、単に差動回路の数を増やすだけでよいので小面積の構成が可能である。

参考文献: [1] 浅井他, IEICE ソサイエティ大会, A-1-16, 2008

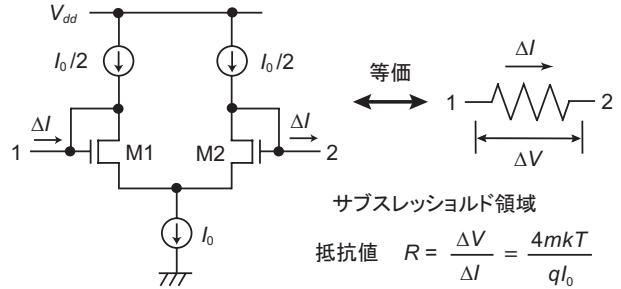


図 1. 差動回路による抵抗素子の原理

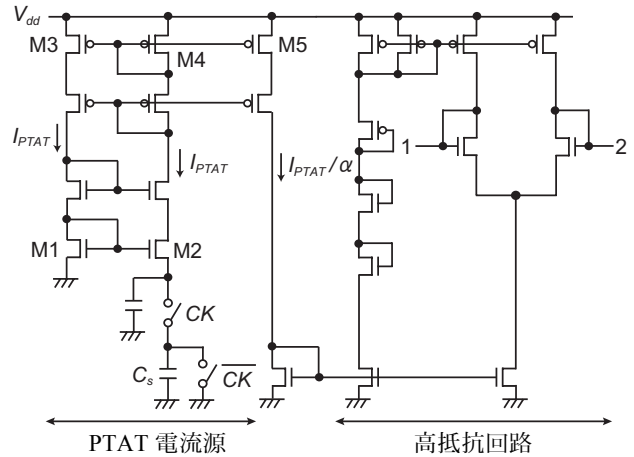


図 2. 温度依存性を補償した高抵抗回路

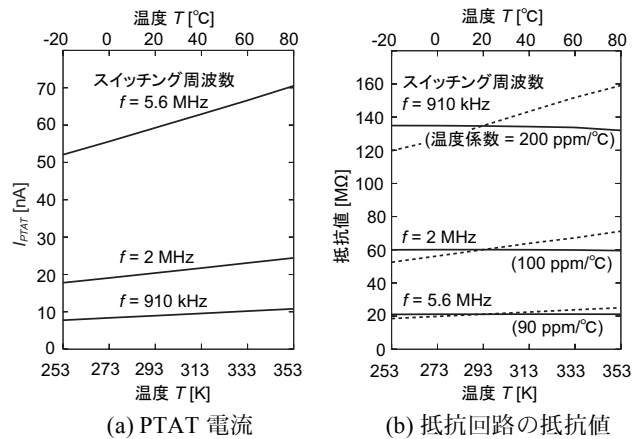


図 3. PTAT 電流源を含む抵抗回路の温度特性。

右図の点線は温度補償のないとき。パラメータは  $V_{dd} = 3 \text{ V}$ ,  $\alpha = 10$ ,  $K = 2$ ,  $C_s = 0.55 \text{ pF}$ 。